

Внедрение рассмотренной задачи в составе АСУ добычными работами на разрезе «Богатырь» ПО «Экибастууголь» обеспечило сокращение продолжительности простоев экскаваторов в забоях и вагонов на углесборочной станции на 35-40%, снижение затрат на добычу угля с последующим его сжиганием на электростанциях на 4-6%.

### Выводы

1. Разработана математическая модель задачи оптимизации суточного (сменного) объёма добычи угля по разрезу, минимизирующая отклонение объёмов добычи от план-графика, разработанного при месячном планировании, простоев горнотранспортного оборудования и учитывающая фактический объём добычи по разрезу, запас угля на складах УПК и прогноз поступления вагонов МПС.

2. Внедрение разработанных математической модели и алгоритма решения задачи «оптимизация суточного (сменного) объёма добычи угля по разрезу» в составе АСУ добычными работами в условиях сложноструктурных залежей обеспечивает сокращение продолжительности простоев горнотранспортного оборудования на 35-40%, снижение затрат на добычу угля с последующим его сжиганием на электростанциях на 4-6%.

### Список использованных источников

1. Pushkin S.P. Obhruntuvannia ratsional'noho metodu stabilizatsii yakosti vuhillia v umovakh skadnostrukturnykh pokladiv. / S.P.Pushkin, A.O.Vodshanyk // Visnyk NTUU «KPI». Seriia «Hirnytstvo».-K.,2008.-Vyp.17.-s.66-73.

2. Bellman R., Drejfus S. Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniia.M., 1995, -285s.

*Стаття надійшла до редакції 20.12.2013 р.*

УДК 622.284

**В.В. Фомичев к. т. н., доц., В. А. Соцков асп. (ГВУЗ «НГУ»)**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНОГО ШТРЕКА В УСЛОВИЯХ НАДРАБОТКИ В ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

**V. V. Fomychov Cand. Sc. (Tech.), assoc. prof., V. Sotskov (NMU)**

### **INVESTIGATION OF STATE CHANGES MODEL OF THE DRAINAGE DRIFT IN OVERWORKING CONDITIONS FOR WESTERN DONBASS MINES**

*Исследовано влияние очистных работ по вышележащему пласту на дренажный штрек. Выявлены закономерности распределения напряжений в условиях надработки подготовительной выработки, позволяющие внести изменения в используемую систему крепления, для повышения эффективности поддержания выработки.*

**Ключевые слова:** вычислительный эксперимент, дренажный штрек, крепление выработок, система крепления.

*Досліджено вплив очисних робіт по вищерозміщеному пласту на дренажний штрек. Виявлені закономірності розподілу напружень в умовах надпрацювання підготовчої виробки, що дозволяють внести зміни в використовувану систему кріплення, для підвищення ефективності підтримки виробки.*

**Ключові слова:** обчислювальний експеримент, дренажний штрек, кріплення виробки, система кріплення.

*The influence of extracting works on the overlying layers to drainage drift is investigated. The regularities of the stresses distribution in overworking conditions for development working allowing amend used fastening system to improve the efficiency of working support is identified.*

**Keywords:** numerical experiment, drainage drift, working support, system of support.

**Актуальность.** Ведение очистных работ в Украине затруднено сложными горно-геологическими условиями. На шахтах Западного Донбасса отрабатываются угольные пласты мощностью 0,6-1,6м, часто залегающие в свите, при этом прочность вмещающих пород, как правило, ниже прочности угля. Серьезно усложняет процесс добычи сильная водонасыщенность пород, а также большие объемы выделяемого газа метана.

Для увеличения темпов роста добычи внедряется комплексная программа модернизации оборудования и технологическое совершенствование производственных процессов. Для решения проблем, возникающих при поддержании подготовительных выработок необходим более гибкий подход к определению рациональных параметров крепи, которая бы учитывала особенности породного массива, производственные процессы и другие факторы, влияющие на устойчивость выработок [1].

**Постановка задачи.** В результате проведенного анализа современных подходов к определению рациональных параметров средств крепления выработок определена необходимость проведения дополнительных исследований. Для этого была разработана методика реализации вычислительного эксперимента на базе метода конечных элементов. Данный подход позволяет построить адекватную пространственную модель углевмещающего породного массива с учетом всех физико-механических свойств пород, смоделировать сеть подготовительных и выемочных выработок с используемыми системами крепления.

В статье рассмотрены результаты использования данного подхода на примере шахты «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» при отработке 547 лавой пласта С<sub>5</sub>. Особенностью данного участка является проведения дренажного штрека на глубине 8-9м под угольным пластом, для снятия сильного водопритока в лаву. Учитывалось влияние зон шарнирно-блокового

сдвигения, образованных вследствие предварительной отработки двух соседних лав. В результате получена модель, которая позволила максимально адекватно определить зоны опорного давления, а также области распределения повышенных напряжений в массиве. Система крепления дренажного штрека моделировалась согласно паспорту крепления выработки и состоит из рамной крепи и 9 сталеполимерных анкеров длиной.

### Результаты исследования.

Как наиболее характерные из полученных результатов для проведения сравнительного анализа выбраны варианты: при расположении забоя над демонтажным штреком (рис. 1 а) и на расстоянии 14 м до штрека (рис. 1 б).

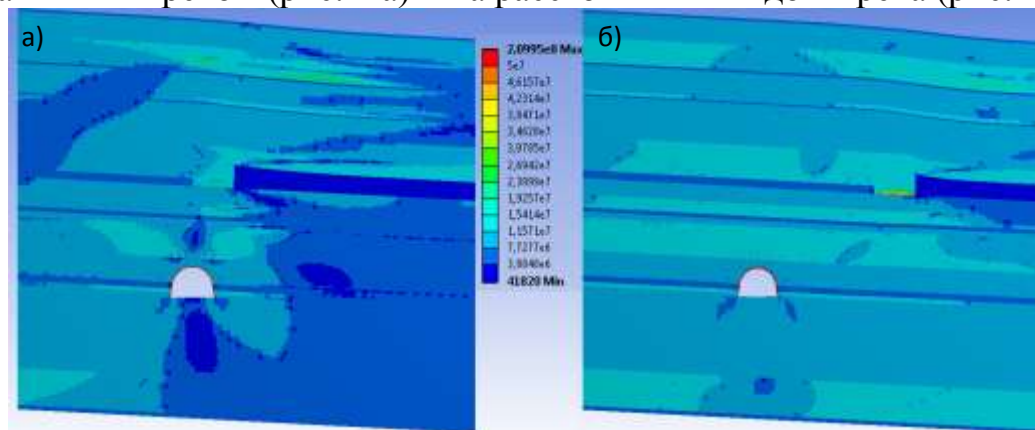


Рис. 1. Эпюры интенсивности напряжений  $\sigma$  поперечного сечения модели при разном положении очистного забоя:

а) над дренажным штреком; б) 14м до дренажного штрека

Представленные эпюры демонстрируют характер перераспределения приведенных напряжений в горном массиве при приближении очистного забоя к демонтажному штреку. На начальном этапе (рис. 1 б) напряжения в массиве вокруг дренажного штрека имеют малый градиент и практически постоянны в пределах отдельного породного слоя. При достижении лавой плоскости вертикальной симметрии дренажного штрека (рис. 1 а) вокруг него формируются зоны концентрации напряжений и разгрузки. При этом стоит учесть, что расчет проводился в упругопластической постановке. В связи с этим на данных эпюрах уже был пройден пик концентрации напряжений и теперь происходит снижение напряжений при увеличении деформаций [2].

В совокупности эпюры интенсивности напряжений  $\sigma$  представленные на рис. 1 показывают как происходит перераспределение напряжений путем снижения их в кровле очистного забоя при прохождении дренажного штрека с одновременным переходом в запредельное состояние окружающих пород. Прохождении лавы приводит к резкому росту деформаций в кровле и почве дренажного штрека, но при этом обеспечивает достаточную устойчивость пород в боках выработки. Исходя из этого основным критерием обеспечения

эксплуатационных характеристик рассматриваемой выработки является рост полных деформаций ее кровли и почвы.

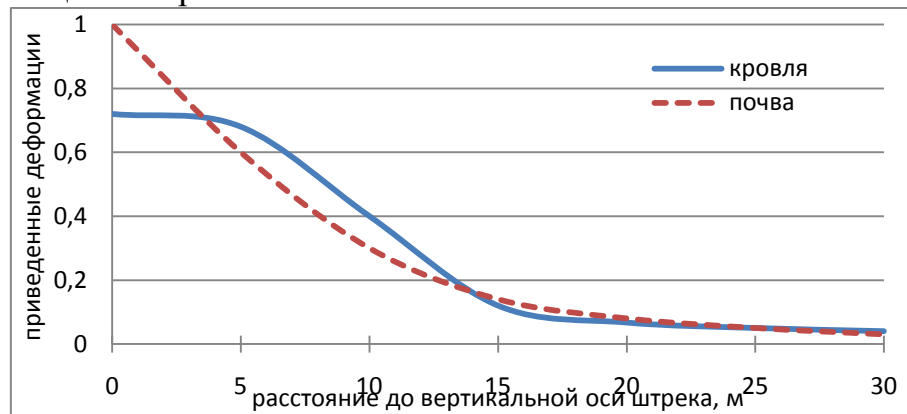


Рис. 2. График полных приведенных деформаций свода кровли дренажного штрека при подвигании очистного забоя

Графики, представленные на рисунке 2, позволяют оценить поведение кровли и почвы выработки при приближении очистного забоя к вертикальной оси дренажного штрека. Как видно, до 14 м рост деформаций кровли и почвы имеет практически линейный характер. При этом динамика роста является незначительной, что позволяет говорить о низком уровне влияния лавы на штрек. С 14 м до 7 м наблюдается стремительный рост деформаций, что указывает на возрастающее влияние очистного забоя. В дальнейшем увеличение деформаций почвы продолжается в том же темпе, что указывает на потерю несущей способности пород ее образующих. Для кровли после 7 м деформации стабилизируются, что вероятнее всего следует связать с компенсацией горного давления.

Для аналитического описания представленных зависимостей введем понятие показателя взаимодействия выработок  $R$  (взаимное влияние очистного забоя и дренажного штрека). При описании воспользуемся функцией устанавливающей зависимости между геометрическими параметрами и механическими характеристиками процесса влияния положения лавы на деформирование кровли выработки. Эталонным качественным показателем принимаются графики деформаций представленные на рис. 2. Описание приведенного показателя взаимодействия выработок выглядит следующим образом:

$$R = f(R_v, R_h, E_i, \gamma H), \text{ где:} \quad (1)$$

$R_v$  - радиус окружности описанной вокруг контура выработки;  $R_h$  - радиус-расстояние от центра дренажного штрека по плоскости лавы;  $E_i$  - усредненный модуль упругости слоистого горного массива;  $\gamma H$  - горное давление.

Нами получена зависимость позволяющая спрогнозировать поведение контура дренажного штрека при его надработке в слоистом горном массиве

образованном породами с низкими, относительно угля, прочностными характеристиками.

Расположение очистного забоя над выработкой способствует появлению характерной области повышенных напряжений в промежуточных слоях, разделяющих угольный пласт и штрек. При приближении очистного забоя зоны опорного давления вокруг лавы и в боках выработки соединяются в единую область с концентрацией напряжений значительно превышающей предел прочности материалов. Размеры области достигают 10м по высоте и 12-15м по ширине, напряжения в диапазоне 15-22МПа. Учитывая характеристики пород Западного Донбасса, такая концентрация напряжений приводит к образованию систем трещин и разупрочнения слоев. Одновременно в почве выработанного пространства происходит снижение концентрации напряжения до минимальных значений. Данные процессы провоцируют увеличение нагрузки на систему крепления дренажного штрека [3].

Аналогично породному массиву для анализа состояния крепежной системы используем эпюры интенсивности  $\sigma$  при различном расположении очистного забоя. При расстоянии 14м от лавы до выработки (рис. 3 б) максимальные концентрации напряжений сосредоточены в левой стойке рамы. Напряжения достигают 270 МПа, что является пределом текучести используемой стали. В тоже время правая стойка крепи нагружена значительно слабее. Напряжения изменяются по всей высоте стойки в широком диапазоне 120-200 МПа. В верхняке рамы наибольшие напряжения локализуются левее центральной оси в области длиной не более 1м, при этом, не превышая 220 МПа. В остальной части верхняка напряжения составляют 120-140 МПа. Анкерное крепление нагружено также неравномерно. Максимальные концентрации напряжений распределяются в правом боковом анкере, особенно в центральной части, где очевидно происходит защемление и деформация стальной арматуры. Анкера, расположенные в кровле выработки нагружены достаточно слабо, напряжения не превышают 60 МПа. Исключением являются два крайних анкера слева, с напряжением до 160 МПа.

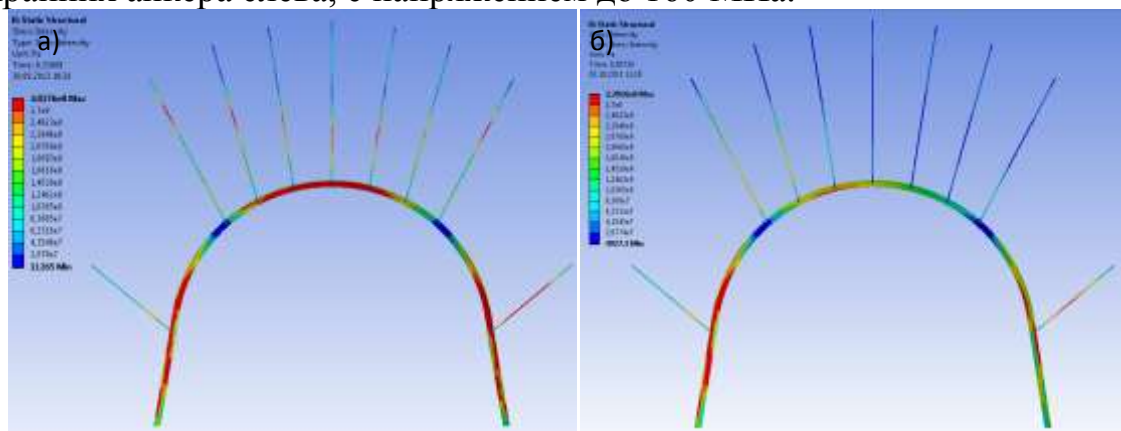


Рис. 3. Эпюры интенсивности  $\sigma$  системы крепления дренажного штрека при разном положении очистного забоя:



а) над выработкой; б) 14м до выработки.

Распределение напряжений при положении забоя над дренажным штреком (рис. 3 а) существенно отличается от предыдущего. Практически 90% рамной крепи подвержено напряжениям равным или превышающим предел текучести стали, что свидетельствует о значительном увеличении давления породы на крепь. В результате происходит срабатывание замков податливости, а также деформирование профиля рамной крепи сразу в нескольких местах. Анкерное крепление соответственно также нагружено сильнее. Центральная часть всего ряда анкеров кровли заземлена вследствие сдвижения породного слоя над выработкой.

Рост напряжений в анкерах (рис. 2 а) происходит за счет изгиба породных слоев образующих кровлю дренажного штрека. На это указывает геометрическое расположение зон повышенных деформаций в теле анкера. Фактически сопротивление анкеров опусканию кровли выработки достигается за счет наличия поперечных деформаций возникающих на границе породных слоев имеющих различные механические характеристики. Кроме того, для центральной группы анкеров зоны концентрации напряжений смещены в сторону контура дренажного штрека, что указывает на влияние области разгрузки горного массива. В результате эффективность применения трех центральных анкеров в момент максимального нагружения крепи выработки становится минимальной. Это приводит к росту зон повышенных напряжений в верхнем сегменте рамной крепи. Таким образом, для анализа эффективности установки анкеров можно принять комбинированный показатель изменения приведенных напряжений в анкере и прилегающем к нему участке рамы.

Для обеспечения поиска оптимальных параметров установки анкера в рассматриваемой задаче было получено следующее условие

$$K_{\sigma} = \frac{\frac{2,43b_r}{b} \sigma_r - \frac{l_a \cos(\alpha)}{l} \sigma_a}{\sigma_{\max}}, \text{ где:} \quad (2)$$

$\sigma_r, \sigma_a, \sigma_{\max}$  - максимальные интенсивности напряжений, соответственно, в раме, анкере и всей крепежной системе ;  $b_r, b$  - расстояние от вертикальной оси до устья шпура анкера и ширина выработки по почве, соответственно;  $l_a, l$  - расстояние от устья шпура до центра зоны максимальных напряжений и длина анкера, соответственно;  $\alpha$  - угол установки анкера относительно горизонта.

При показателях  $K_{\sigma}$  менее |0,2| установка анкера признается эффективной, при значении этого параметра до |0,5| - анкер установлен приемлемо, а уже выше его размещение не обеспечивает достаточной несущей способности.

Таким образом, в рамках рассматриваемого примера только боковые анкера установлены с соблюдением условия приемлемой эффективности работы. Все семь анкеров в кровле дренажного штрека обладают низкой

эффективностью, а три центральных вообще не обеспечивают приемлемой несущей способности.

Результаты проведенного моделирования хорошо согласуются с натурными наблюдениями выполненными на шахте «Самарская». Выявленные закономерности, как в качественном, так и в количественном представлении отвечают реальному изменению высоты дренажного штрека, происходящему при его надработке в рассмотренных горно-геологических условиях.

### **Выводы**

В ходе анализа проблемы поведения крепежной системы дренажного штрека с учетом надработки выявлено, что существующие параметры крепления не обеспечивают эксплуатационное состояние выработок. Влияние прохождения лавы на состояние дренажного штрека имеет нелинейный характер и состоит из трех фаз. Полученные результаты позволяют с высокой точностью оценить эффективность работы существующей схемы крепления дренажного штрека и выявить ее проблемные места. Авторами выявлены закономерности распределения напряжений в условиях надработки подготовительной выработки, позволяющие внести изменения в используемую систему крепления, для повышения эффективности поддержания выработки.

### **Список использованной источников:**

1. Godovoy otchet DTEK 2012 «Energia v deystvii». – Donetsk. – 237с. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.dtek.com/library/file/annual-report-2012-ru.pdf>.
2. Bondarenko V. Analysis of stress-strain state of the cable bolts installed in the face exit while the longwall face approaches / Bondarenko V., Fomichov V., Sotskov V. // Geotechnika I budownictwo specjalne 2014 – XXXVII Zimowa Szkola Mechaniki Gorot-woru, Wisla-Jawornik,. – Krakow: AGH, 2014. – pp. 89-94
3. Sotskov V. Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. / V. Sotskov, I. Saleev // Mining of mineral deposits–Netherlands: CRC Press /Balkema – 2013. – P. 197-201.

*Статья поступила в редакцию 28.03.2014 г.*